الفصل الأول

نبذة عن الذرة والنواة
The atom and the nucleus

– مقدمة – الذرة – العدد الكتلي – العدد الذري – النظائر – حجم وكتلة النواة – الوحدة الذرية للطاقة – طاقة الترابط للنواة – أسئلة ومسائل

1-1 مقدمة

خلق الله الكون، الذي نسكن جزءاً منه، من مجموعة مواد كالماء والهواء والرمل والحديد والخشب. وتوجد المادة في هذا الكون على شكل عناصر منفصلة أو مركبات لهذه العناصر أو في شكل مخاليط من عدة مواد . أما العنصر (element) فهو الصورة الأولية للمادة ولا يمكن تحويله إلى صورة أبسط بالطرق الكيميائية. وتتألف كل المواد الموجودة في هذا الكون من اثنين وتسعين عنصراً طبيعياً مثل الهيدروجين والأكسجين والحديد والذهب وغيرها. كما يمكن إنتاج عدة عشرات من العناصر الأخرى بطرق صناعية مثل عنصر البلوتونيوم ذي الأهمية البالغة في الأسلحة النووية وبعض المفاعلات .

وعند اتحاد عنصرين أو اكثر اتحاداً كيميائيا يتكون ما يسمى بالمركب (compound). فعلى سبيل المثال يتكون الماء (H_2O) من عنصري الهيدروجين والأكسجين في حين يتكون السكر من عناصر الكربون والأكسجين والهيدروجين. كذلك، يمكن أن يتحلل المركب إلى عناصره الأولية باستخدام الطرق الكيميائية.

2-1 الذرة The atom

يتكون العنصر من وحدات متشابهة متناهية في الصغر يطلق عليها اسم ذرات. وتخلف العناصر باختلاف ذراتها. وتتكون ذرة أي

عنصر من جسم مركزي حجمه صغير جداً يعـرف بـالنواة (nucleus) ويبلغ نصف قطرها حوالي 10^{-13} سم . ويـدور حولهـا عـدد مـن الإلكترونات في مدارات يبلغ نصف قطرها 10^{-8} سم . وتتكون النـواة بدورها من جسيمات تعـرف بالبروتونـات (protons) والنيوترونـات (neutrons).

البروتون The proton

جسيم نووي يحمل شحنة كهربيـة مسـاوية تمامـاً لشـحنة الإلكترون ولكنها موجبة. وتبلغ كتلة السكون للبروتون 1.6726×10^{-27} كجم . وعند استخدام وحدات الكتلـة الذريـة (atomic mass units amu) تساوي كتلة البروتون 1.007276 وحدة كتلة ذرية (و.ك.ذ).

الإلكترون The electron

جسيم يدور في قشرات خارجية للنواة ويحمل شحنة كهربية سالبة قيمتها المطلقة مساوية تماماً لشحنة البروتون (أي أنهـا تسـاوي 1.6×10^{-19} كولوم. وكتلة الإلكترون أصغر من كتلة البروتون بحوالي 1840 مرة حيث تبلغ 9.11×10^{-31} كجم (أي 0.0005486 وحـدة كتلة ذرية)

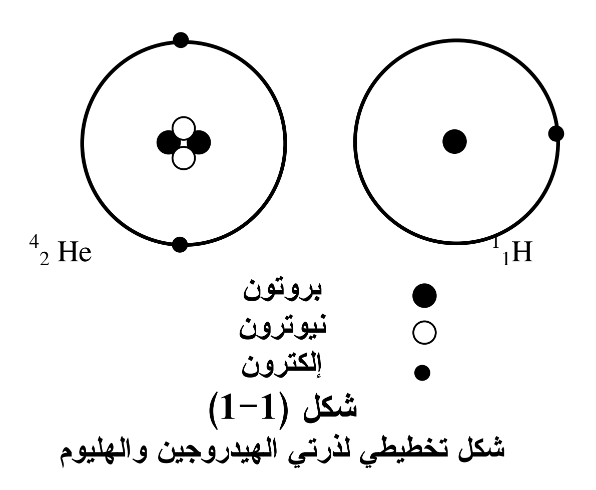
النيوترون The neutron

هو جسيم نووي متعـادل الشـحنة (أي لا يحمـل شـحنة كهربية)، وكتلتـه مسـاوية تقريبـاً لكتلـة البروتـون، حيـث تبلـغ 1.6749×10^{-27} كجم (أي 1.0086649 و.ك.ذ). وغالباً مـا يتكـون النيوترون نتيجة لاتحاد بروتون وإلكترون حيث إن النيوترون الحر (أي خارج النواة) يعيش في المتوسط لمدة 15 دقيقة ثم يتفكك تلقائيـا إلـى بروتون وإلكترون.

وهكذا، تشكل كل من البروتونـات والنيوترونـات الجسـم المركزي للذرة والمعروف بالنواة وتدور حولها الإلكترونات في مدارات

أو قشرات (orbits or shells) مختلفة. ويتسع أقـــرب مـــدار للنــواة لإلكترونين فقط ويعــرف باسم المدار أو القشـــرة k (k-shell)، فـــي حين يتسع المدار الثاني والمعروف باسم المدار L لثمانية إلكترونـــات، ويتسع المدار الثالث والمعروف باسم المدار M لثمانية عشر إلكترونـــاً، والرابع وهو المدار N لثنين وثلاثين إلكتروناً .

والذرة متعادلة كهربياً حيث أن عدد البروتونات الموجبة فـــي النواة يتساوى دائماً مع عدد الإلكترونات السالبة في المـــدارات. ويبـــين شكل (1−1) رسماً تخطيطاً لذرتي الهيدروجين والهليوم. وتعتبـــر ذرة الهيدروجين أبسط الذرات على الإطلاق، وهي الذرة الوحيـــدة التـــي لا تحتوي على نيوترونات في نواتها حيث تتكون نواتها من بروتون واحد يدور حوله إلكترون واحد في المدار K عندما تكون الذرة غير مثارة .



شكل (1−1)

شكل تخطيطي لذرتي الهيدروجين والهليوم

3−1 العدد الكتلي والعدد الذري Mass and atomic numbers

العدد الكتلي للذرة هو مجموع عددي البروتونات والنيترونات في نواتها. ويوضح هذا العدد كتلة الذرة التقريبية بوحدات الكتلـــة الذريـــة حيث أن العدد الكتلي يكون دائما عددا صحيحا، أما الكتلة بوحدات الكتلة الذرية فتكون كسرا يقل قليلا عن العدد الصحيح. ولا يدخل في هذا العدد كتلة الإلكترونات نظراً لصغرها. ويرمز للعدد الكتلي بـــالرمز A. أمـــا

العدد الذري فهو عبارة عن عدد البروتونات في النواة، ويرمز له بالرمز Z. وعلى ذلك تتميز ذرة الهيدروجين $_1H^1$ بعـــدد ذري $Z = 1$ ، وعـــدد كتلي $A = 1$. وأما ذرة الهليوم ^4_2He فيميزها عدد ذري $Z = 2$ وعـــدد كتلي $A = 4$. وتتميز ذرة الكربون $^{12}_6C$ بعدد ذري $Z = 6$ وعدد كتلـــي $A = 12$ ، حيث تحتوي نواتها على ستة بروتونات وستة نيوترونـــات. أما ذرة اليورانيوم $^{238}_{92}U$ فعددها الذري $Z = 92$ في حـــين أن عـــددها الكتلي $A = 238$ ، حيث تحتوي نواة اليورانيوم على 92 بروتونا، 146 نيوترونا. ويعتبر اليورانيوم آخر وأثقل العناصر الموجودة في الطبيعة، ولكنه يمكن إنتاج عناصر ذات عدد ذري أو كتلي أعلى وذلـــك بطـــرق صناعية مثل البلوتونيوم $_{94}Pu$ وغيرها. ومن المتفـــق عليـــه أن يرمـــز للعنصر بأحرفه اللاتينية الأولى، ويكتب عدده الذري في الركن الســـفلي الأيسر وعدده الكتلي في الركن العلوي الأيسر .

1-4 النظائر The isotopes

تحتوي ذرات العنصـــر الواحـــد علـــى العـــدد نفســـه مـــن البروتونات، إلا أنها قد تحتوي على أعداد مختلفة من النيترونات. ويعني هذا أن العدد الذري للعنصر الواحد لا يتغير، في حين يتغير عدده الكتلي تبعاً لعدد النيترونات. ويقال في هذه الحالة إن العنصر الواحد لـــه عـــدة نظائر . فمثلاً نجد أن للهيدروجين ثلاثة نظائر هي:

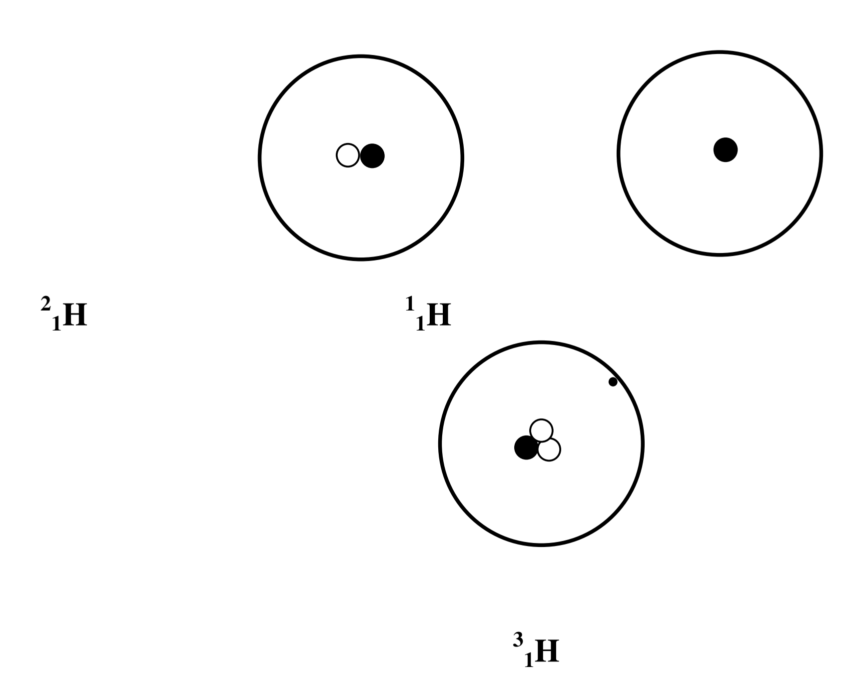
الهيدروجين-1 ^1_1H : وتتكون نواته من بروتون واحد ولا تحتوي على نيوترونات ($A = 1$، $Z = 1$)

الهيدروجين-2 ^2_1H : وتتكون نواته من بروتون واحد ونيوترون واحد ($A = 2$، $Z = 1$) ويعرف باسم الديتيريوم.

الهيدروجين-3 ^3_1H : وتتكون نواته من بروتون واحد ونيوترونين، أي أن ($A = 3$ ، $Z = 1$) ويعرف باسم التريتيوم.

ويبين شكل (1-2) النظائر المخلتفة لعنصر الهيدروجين.

ويوجد لكل عنصر عدد من النظائر تصل أحياناً إلى أكثر مـــن خمسين نظيراً للعنصر الواحد. وتكون بعض النظائر مستقرة في حـــين يكون بعضها الآخر نشطاً (radioactive) فيصـــدر إشـــعاعات نوويـــة. وعموما، يوجد العنصر في الطبيعة في شكل خليط من بعض نظـــائره، وأما بعضها الآخر فلا يوجد عادة في الطبيعة وإنما يمكن إنتاجه صناعياً باستخدام المفاعلات أو المعجلات النووية.



شكل (2-1)

النظائر المختللفة لعنصر الهيدروجين

وتجدر الإشارة إلى أن نظائر العنصر الواحد تتحد فـــي جميـــع خواصها الكيميائية، حيث أن العدد الذري للعنصـــر هـــو الـــذي يحـــدد خواصه الكيميائية. ولذلك، فإنه لا يمكن فصل النظائر بالطرق الكيميائية وإنما يتم فصلها عن بعضها بطرق فيزيائية أخرى.

وبالنسبة للعناصر الخفيفة (أي ذات العدد الذري الصغير) يمكن أن يكون عدد النيوترونات مساوياً أو أكبر أو أقل من عدد البروتونات. أما بالنسبة للعناصر ذات الأعداد الذرية المتوسطة والكبيرة فيكون عدد النيوترونات أكبر عادة من عدد البروتونات.

ويزداد الفرق بين هذين العددين كلما زاد العدد الذري Z وتوضح نظائر اليورانيوم هذه الحقيقة، حيث يبلغ العدد الذري لليورانيوم92 في حين يتراوح العدد الكتلي بين حوالي 230، 240.

5-1 حجم وكتلة النواة The size and the mass of the nuclues

ورد أن نصف قطر النواة يكون عادة أصغر بكثير من نصف قطر الذرة، حيث يقل نصف قطر النواة عن نظيره للذرة بحوالي مائة ألف مرة. ويمكن النظر إلى نواة أي نظير على أنها مجموعة من النيوترونات والبروتونات متراصة بجوار بعضها في شكل كرة نصف قطرها R وبذلك يكون حجمها عبارة عن $4\pi R^3/3$. وبزيادة عدد البروتونات والنيوترونات في النواة (أي بزيادة العدد الكتلي A) يزداد حجم النواة. وقد وجد عملياً أنه يمكن إيجاد نصف قطر النواة (بالسنتيمتر) باستخدام العلاقة التالية:

$$R = 1.2 \times A^{1/3} \times 10^{-13} \text{ (cm)} \qquad (1\text{-}1)$$

وحيث أن A تتراوح بين 1 ، 240 لجميع النوى الموجودة في الطبيعة فإن نصف قطر أكبر نواة لا يتعدى 10^{-12} سم.

أما بالنسبة لكتلة النواة فقد ذكر أن العدد الكتلي A يحدد بالتقريب كتلة النواة. وفي الحقيقة فإن الكتلة الحقيقية للنواة تكون دائماً أقل من العدد الكتلي. فلكي تبقى النواة متماسكة ومترابطة فإنها تحتاج إلى طاقة تربط هذه المكونات ببعضها، وإلا تفككت النواة إلى مكوناتها الأولية. وتبعاً لعلاقة أينشتين بين الطاقة والكتلة فإن جزءاً من كتلة النواة يتحول إلى طاقة ترابط تؤدي إلى تماسك مكونات النواة مع بعضها. بذلك، تصبح الكتلة الفعلية للنواة أقل من مجموع كتل مكوناتها.

وقد استخدمت وحدة لقياس كتل النوى والذرات تعــرف باســم وحدة الكتلة الذرية (atomic mass unit). ولقد اتفق عالمياً على اعتبــار كتلة نظير الكربون 12 $M(^{12}_{6}C)$ مساوية 12 وحدة كتلة ذرية. وبالقياس على ذلك تكون كتلة نظير الهيــدروجين $M(^{1}_{1}H)=1.007825$، وكتلــة البروتون هي $M_P=1.007276$ ، وكتلة النيوترون هي $M_n=1.008665$ ، في حين أن كتلة الإلكترون هي $M_e = 0.0005486$ ، وذلــك بوحــدات الكتلة الذرية.

وهكذا، فإن وحدة الكتلة الذرية (amu) التي هــي عبــارة عــن 12/1 من كتلة ذرة الكربون $(^{12}_{6}C)$ تساوي كتلة مقدارها 1.6555×10^{-27} كجم.

6-1 الوحدات الذرية للطاقة Atomic units of energy

أثبت أينشتين أن الطاقة والمادة متكافئتان. بمعنى أن المادة يمكن أن تتحول إلى طاقة، والطاقة بدورها يمكن أن تتحول إلى مادة. وقد استنتج أينشتين العلاقة التي تربط بين المادة والطاقة عند حدوث التحول وهي العلاقة المعروفة باسم علاقة تكافؤ المادة والطاقة، وهي:

$$E_o = m_o C^2 \qquad (1-2)$$

حيث أن: E_o قيمة الطاقة بالجول، m_o كتلة المادة عند السكون بالكيلوجرامات، C سرعة الضوء بالمتر/ثانية $(C = 3 \times 10^8 \text{ m/Sec})$

وللتعبير عن الطاقة في المجالات الذرية والنووية تستخدم عادة وحدة صغيرة تعرف باسم وحدة الإلكترون – فولت eV unit. والإلكترون – فولت عبارة عن كمية الطاقة التي يكتسبها أو يفقدها إلكترون (أو بروتون) عند اجتيازه فرق جهد مقداره فولت واحد.

وحيث أن شحنة الإلكترون = 1.6×10^{-19} كولوم، نجد أن:

(eV) إلكترون – فولت واحد = 1.6×10^{-19} جول

ومضاعفات هذه الوحدة هي:

(KeV) كيلو إلكترون فولت = 10^{3} إلكترون فولت
= 1.6×10^{-16} جول.

(MeV) 1ميغا إلكترون فولت = 10^{6} إلكترون فولت
= 1.6×10^{-13} جول.

وإنه لمن المفيد ذكر بعض العلاقات الخاصة بالتحويل من وحدة الجول إلى بعض وحدات الطاقة الآتية:

1 سعر = 4.18 جول
1 كيلو واط . ساعة = 3.6×10^{6} جول

وباستخدام هذه العلاقات فإنه يمكن تحديد قيمة وحدة الكتلة الذرية سواءً بالجول أو بالإلكترون فولت، حيث نجد أن:

1 وحدة كتلة ذرية = 1.6555×10^{-27} (كجم)
× (3×10^{8} متر / ثانية $)^2$
= 1.49×10^{-10} جول
1 و ك ذ = 1.49×10^{-10} / 1.6×10^{-19}
= 931 ميغا إلكترون فولت

1-7 طاقة الترابط للنواة The nuclear binding energy

لما كانت النواة تحتوي على عدد معين من البروتونات الموجبة الشحنة فإنه تتولد بين هذه البروتونات داخل النواة قوى تنافر كهروستاتيكية، تتناسب تناسباً عكسياً مع مربع المسافات بينها. وحيث أن المسافات بين البروتونات في النواة صغيرة للغاية فإنه من المتوقع أن تكون قيمة قوى التنافر كبيرة للغاية، بحيث أن النواة لا تتكون، وإذا تكونت فإنها سرعان ما تتفكك. إلا أن بقاء النواة متماسكة يعني أن هناك

قوى أخرى للجذب أقوى من قوى التنافر المذكورة. وهذه القوى الجاذبة تعرف بالقوى النووية، وهي تؤثر بين كل من بروتون وبروتون، ونيوترون ونيوترون، وكذلك بين البروتون والنيوترون إذا وجدت هذه الجسيمات بجوار بعضها. وقد ثبت فيما بعد أن القوى النووية بين جميع هذه الجسيمات متكافئة مهما يكن نوعها. لذلك، فإنه من الناحية النووية (وليس من ناحية الشحنة) يمكن اعتبار كل من البروتون والنيوترون جسماً واحداً يطلق على أي منهما اسم نيوكلون (nucleon).

وهكذا، تجذب النيوكلونات بعضها بعضا ما دامت المسافة بين هذه النيوكلونات صغيرة (أقل من 10^{-13} سم). ويؤدي ذلك إلى ترابط هذه النيوكلونات وتكوين البناء المترابط والمعروف باسم النواة. ولكي تتفكك النواة إلى النيوكلونات المكونة لها فإنه يجب منحها كمية معينة من الطاقة، إذ أنه نتيجة لوجود طاقة الترابط تقل كتلة النواة عن مجموع كتل النيوكلونات المكونة لها. وهذا الفرق بين الكتلة الفعلية للنواة وبين مجموع كتل مكوناتها يشكل ما يسمى كتلة الترابط أو طاقة الترابط اللتان ترتبطان فيما بينهما بعلاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة.

أي أن كتلة الترابط للنواة تساوي مجموع كتل النيكلونات المكونة للنواة مطروح منها كتلة النواة الفعلية. وبالتالي نجد أن طاقة الترابط B هي:

$$B = (N\,M_n + Z\,M_p - M\,)\,C^2 \qquad (1\text{-}3)$$

حيث: M كتلة النواة الفعلية، M_n هي كتلة النيوترون، M_p هي كتلة البروتون و N عدد النيوترونات في النواة، Z عدد البروتونات فيها أي العدد الذري.

ولنحسب الآن طاقة الترابط لنواة الديتيريوم المكونة من بروتون ونيوترون، حيث أن كتلة الديتيريوم هي 2.013547 و ك ذ

$$B = 1 \times 1.008665 + 1 \times 1.007276 - 2.013547$$
$$= 0.002394 \text{ amu}$$

$= 0.002394 \times 931 = 2.23$ MeV

أي أن طاقة الترابط لنواة الديتيريوم هي 2.23 ميغا إلكترون فولت. وبقسمة هذه القيمة على عدد نيوكلونات النواة نجد أن طاقة الترابط للنيوكلون الواحد في نواة الديتيريوم هي 1.165 ميغا إلكترون فولت. وتعتبر قيمة طاقة الترابط للنيوكلون الواحد بمثابة مقياس لمدى تماسك واستقرار النواة . فكلما زادت هذه القيمة كانت النواة متماسكة ومستقرة، وكلما قلت هذه القيمة فإن هذا يعني أن النواة أكثر تفككاً وغير مستقرة.

وتجدر الإشارة إلى أن طاقة الترابط للنيوكلون الواحد للنوى الخفيفة (مثل نظائر الهيدروجين والهليوم والليثيوم) تكون عادة صغيرة ثم تزداد بزيادة العدد الكتلي، وتستمر ثابتة عند حوالي 8.5 ميغا إلكترون فولت لكل نيوكلون للنوى المتوسطة الكتلة، ثم تبدأ في الانخفاض من جديد للنوى الثقيلة (حوالي 7.5 ميغا إلكترون فولت لنواة اليورانيوم). وهذا هو السبب الذي يؤدي إلى انطلاق طاقة كبيرة عند انشطار اليورانيوم والعناصر الثقيلة الأخرى مثل الثوريوم، وانطلاق طاقة أكبر عند اندماج عناصر خفيفة مثل نظائر الهيدروجين.

8-1 مسائل وأسئلة للمراجعة

1- ارسم رسما تخطيطيا يمثل ذرات العناصر التالية
$^{14}_{6}C$, $^{9}_{4}Be$, $^{3}_{1}H$

2- ما هي كتلة الإلكترون بوحدات الكتلة الذرية وبوحدات الميغا إلكترون فولت؟

3- ماذا تعني كلمة نظير؟ مثّل لما تقول.

4- أوجد نصف قطر نواة الراديوم 226، إذا اعتبرنا أن النواة على شكل كرة.

5- احسب طاقة الترابط لنواة الهيليوم 4 وطاقة الترابط لكل نيكلون في هذه النواة، إذا علمت أن كتلة نواة الهيليوم 4 هي 4.001506 و ك ذ.

6- احسب طاقة الترابط لنواة الأكسجين 16 وكذلك طاقة الترابط لكل نيكلون في هذه النواة، إذا علمت أن كتلة ذرة الأكسجين هي 15.994915 و ك ذ . (أهمل طاقة ترابط الإلكترونات في الذرة).

7- أيهما أكثر استقرارا نواة الأكسجين 16 أم الأكسجين 17 إذا علمت أن كتلة ذرة الأكسجين 17 هي : 16.999131 و ك ذ؟

8- احسب طاقة الترابط لنواة الكربون 12 بوحدات الكتلة الذرية والميغا إلكترون فولت إذا علمت أن كتلة ذرة الكربون 12 هي 12 و ك ذ.